

(43)Date of publication of application : 26.06.1990

C21D 9/56
C21D 11/00

(72)Inventor : SERIO HIROYUKI
DOI KATSUHIKO
MASUNO YASUHIKO

The block diagram illustrates a control system architecture. At the top, a box labeled "控制回路-7" (Control Loop-7) is connected to two boxes below it: "汽轮机" (Turbine) on the left and "发电机" (Generator) on the right. The "汽轮机" box is further connected to the "发电机" box. Below these are four main functional blocks arranged in a central area: "给定器" (Setpoint Generator), "调节器" (Controller), "执行机构" (Actuator), and "反馈环节" (Feedback Link). These blocks are interconnected with various feedback loops indicated by dashed lines. On the far left, a box labeled "主蒸汽" (Main Steam) has a connection to the "给定器". On the far right, a box labeled "凝汽器" (Condenser) has a connection to the "反馈环节". At the bottom center, a box labeled "加热器" (Heater) is connected to the "执行机构".

08/01/18

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑪ 公開特許公報(A)

平2-166235

⑫ Int. Cl.⁵

C 21 D 9/56
11/00

識別記号

1 0 1 C
1 0 2

庁内整理番号

7371-4K
7371-4K

⑬ 公開 平成2年(1990)6月26日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全5頁)

⑭ 発明の名称 金属板加熱炉における板温制御方法

⑮ 特 願 昭63-320033

⑯ 出 願 昭63(1988)12月19日

⑰ 発 明 者 芹 生 浩 之 千葉県千葉市川崎町1番地 川崎製鉄株式会社千葉製鉄所内

⑱ 発 明 者 土 肥 克 彦 千葉県千葉市川崎町1番地 川崎製鉄株式会社千葉製鉄所内

⑲ 発 明 者 増 野 豊 彦 千葉県千葉市川崎町1番地 川崎製鉄株式会社千葉製鉄所内

⑳ 出 願 人 川崎製鉄株式会社 兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号

㉑ 代 理 人 弁理士 森 哲 也 外3名

明 細 書

1. 発明の名称

金属板加熱炉における板温制御方法

2. 特許請求の範囲

- (1) 加熱炉で加熱される金属板の寸法や板温目標値等の時系列データと、前記加熱炉の伝熱形態を表現した伝熱モデルとに基づいて、前記板温目標値との差が最小となるような板温予測値を予め求めておき、前記加熱炉の応答のみに注目した数学モデルを有する適応制御系によって、前記加熱炉での板温が前記板温予測値に等しくなるように前記加熱炉を制御することを特徴とする金属板加熱炉における板温制御方法。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

この発明は、連続焼鈍炉等の金属板加熱炉における板温の制御方法に関する。

〔従来の技術〕

従来、連続焼鈍炉等の金属板の加熱炉における板温の制御方法としては、板温の目標値と、実測

値とに基づいたフィードバック制御、即ち、板温の目標値SVと、加熱炉での実測値PVとの偏差(SV-PV)の大きさ、積分値及び微分値に基づいたPID制御を行うのが一般的な制御方法である。

また、板温の目標値の変更時刻や変動量等の将来のデータが判っている場合には、加熱炉の遅い、応答性を考慮して、上記フィードバック制御と共にフィードフォワード制御も適用されている。

〔発明が解決しようとする課題〕

しかしながら、従来のフィードフォワード制御にあっては、目標値又は制御出力(加熱炉に供給する燃料等)の変更時刻及び変動量は、テーブルや数式を用いて表現するが、あらゆる操業状況に適したテーブルや数式を作成するのは困難であるので、板温の目標値と実測値との差を常に最小とすることが困難であった。

また、板温の目標値と実測値との差を最小にできるような板温の変更ルートを設定できた場合であっても、加熱炉の時定数は大であるし、PID

制御のパラメータチューニングは非常に困難であり、しかも、このパラメータチューニングは加熱炉の操業状況を監視しつつ人が行うため、あらゆる条件の下で最適な制御が行われることは非常に希であった。

このため、PID制御をフィードバック制御に用いた場合の制御精度の向上は、非常に困難であった。

この発明は、このような従来技術における技術的な課題に着目してなされたものであり、加熱炉における板温制御の精度が向上できる制御方法を提供することを目的としている。

〔課題を解決するための手段〕

上記目的を達成するために、この発明は、加熱炉で加熱される金属板の寸法や板温目標値等の時系列データと、前記加熱炉の伝熱形態を表現した伝熱モデルとに基づいて、前記板温目標値との差が最小となるような板温予測値を予め求めておき、前記加熱炉の応答のみに注目した数学モデルを有する適応制御系によって、前記加熱炉での板温が

前記板温予測値に等しくなるように前記加熱炉を制御するものである。

〔作用〕

加熱炉で加熱される金属板の条件（金属板の寸法、比熱、板温目標値等）の時系列データと、加熱炉の伝熱形態を表現した伝熱モデル（物理的なモデル）とに基づいて、板温目標値との差が最小となるような板温予測値が求められ、加熱炉における実際の板温が板温予測値に一致するように、加熱炉の応答のみに注目した数学モデルを有する適応制御系によって加熱炉への入力（供給燃料、金属板のライン速度等）が制御される。

〔実施例〕

以下、この発明の実施例を図面に基づいて説明する。

第1図は本発明の一実施例の構成を示したブロック図である。

先ず、構成を説明すると、第1図において、連続焼鈍炉等の加熱炉1において将来加熱される金属板の寸法、比熱、板温目標値等が記憶されてい

3

る時系列データ2と、加熱炉1内における例えばラジアントチューブ、ハースロール、ストリップ等の相互の伝熱形態を表現した物理的な伝熱モデル3とに基づいて、例えばSUMT法等の数値計画法を用いて板温目標値 T_{os} との差が最小となるような板温予測値（板温ルート） T_{rs} を求める板温ルート演算器5がある。

この実施例では、板温の目標値とルートとの差の大きさを示す評価関数として、下記の(1)式に示す関数Jを用いた。但し、金属板の焼き不足を避けるために、 $T_{os}(t) \leq T_{rs}(t)$ という制約条件を設けた。

$$J = \int_0^{\infty} \{ T_{os}(t) - T_{rs}(t) \}^2 dt \quad \dots (1)$$

そして、この板温ルート演算器5において求められた板温ルート T_{rs} を設定値として、加熱炉1に対する制御を行う適応制御系としての適応制御装置10がある。

この適応制御装置10は、加熱炉1への入力及び出力間の応答のみに注目して、加熱炉1の動特性を表している数学モデル11と、この数学モデ

5

4

ル11を実際の入出力を用いて常にチューニングする同定器12と、数学モデル11で表された加熱炉1の内部状態を表す状態量（物理的な意味を持たない）を、実際の入出力から推定する状態推定器13と、上記状態量から加熱炉1の動特性を考慮して、加熱炉1に供給する燃料流量を適切に制御する制御器14とを備えている。

また、加熱炉1には、実際の金属板の寸法を測定する測定器15と、実際の板温を計測する板温計16とが設けられていて、これら測定器15及び板温計16の出力は、同定器12、状態推定器13及び制御器14に供給される。

なお、本実施例では、上記数学モデル11として下記の(2)及び(3)式に示すモデルを用いた。

$$x(t + \Delta t) = A x(t) + B u(t) \quad \dots (2)$$

$$y(t + \Delta t) = C x(t + \Delta t) \quad \dots (3)$$

但し、 $y(t)$ は加熱炉1の出側の板温であり、

$$u(t) = \begin{bmatrix} L S \cdot D \cdot W \\ V \end{bmatrix}$$

6

である。(なお、 L は金属板のライン速度、 D は板厚、 W は板幅、 V は燃料流量である。)

また、本実施例では、同定器12に最小2乗法を、状態推定器13としてカルマンフィルタを、制御器14には有限整定制御法をそれぞれ適用した。

次に、上記実施例の作用を説明する。

今、加熱炉1において、連続して3種類のコイル C_1 、 C_2 及び C_3 を加熱するものとし、これらコイル C_1 、 C_2 及び C_3 のそれぞれの板温目標値を、 T_{01} 、 T_{02} 及び T_{03} とする。

即ち、第2図に示すように、加熱炉1でコイル $C_1 \sim C_3$ を連続して加熱するものである。そこで、各コイルの板温目標値 T_{01} 、 T_{02} 及び T_{03} や各コイルの寸法等の時系列データ2と、伝熱モデル3とに基づき、板温ルート演算器5において上記(1)式の評価関数 J を用いて、最適な板温ルート $T_{ns}(t)$ を求めると、第2図実線で示すようになる。

つまり、板温ルート $T_{ns}(t)$ を決定する際に上

記板温目標値の関係($T_{02} < T_{01} < T_{03}$)が考慮される(コイル C_2 を加熱する際に温度を下げ過ぎると、コイル C_3 に移行した際に温度の上昇が間に合わなくなる。)から、コイル C_3 を加熱する際の板温ルート $T_{ns}(t)$ がその目標値 T_{03} を下回らないように設定される。

そして、求められた板温ルート $T_{ns}(t)$ を設定値として、適応制御装置10が制御を行う。

即ち、経過時間毎に板温ルート $T_{ns}(t)$ を制御器14に読み込む一方で、実際の金属板の寸法及び板温が測定器15及び板温計16から、同定器12、状態推定器13及び制御器14に供給される。同定器12は、供給される実際の寸法及び板温に基づいて数学モデル11のチューニングを行い、数学モデル11は、状態推定器13及び制御器14にモデルパラメータを出力し、状態推定器13は、数学モデル11で表された加熱炉1の内部状態を表す状態量を、供給される実際の寸法及び板温から推定して制御器14に供給する。

そして、制御器14は、供給される各値を適宜

7

考慮して、適切な燃料流量を決定し、加熱炉1を制御する。

すると、金属板の実際の板温は、第2図鎖線で示すように、略板温ルート $T_{ns}(t)$ に一致する。

しかも、板温目標値が異なるコイル $C_1 \sim C_3$ の何れにおいても、実際の板温が板温目標値を下回ることがないから、焼き不足は起きない。

このように、本発明を適用した上記実施例においては、制御精度が向上し、焼き不足が発生する恐れがなくなって不良品発生率を低減できる。

比較例として、第2図と同じコイル $C_1 \sim C_3$ に対して従来のフィードバック制御とフィードフォワード制御とによる板温制御を行った場合の結果を第3図に示す。

この従来の制御では、板温目標値(破線)と実際の板温(鎖線)との偏差に基づいたフィードバック制御と、加熱炉1の遅い応答性を補うために、コイル C_1 からコイル C_3 に移行するよりも前に温度を上昇させるフィードフォワード制御とが行われているが、コイル C_3 の工程で温度が下がり

8

過ぎているので、コイル C_3 に移行した時に充分温度を上昇させることができず、このため、コイル C_3 が焼き不足となってしまう。

(発明の効果)

以上説明したように、本発明によれば、加熱炉で加熱される金属板の寸法や板温目標値等の時系列データと、加熱炉の伝熱形態を表現した伝熱モデルとに基づいて、板温目標値との差が最小となるような板温予測値を予め求めておき、加熱炉の応答のみに注目した数学モデルを有する適応制御系によって、加熱炉での板温が板温予測値に等しくなるように加熱炉を制御するようにしたため、加熱炉に対する制御精度を向上することができ、その結果、不良品発生率を低減できるという効果が得られる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例の構成を示すブロック図、第2図はこの実施例で3種のコイルを加熱した際の板温の変化を示すグラフ、第3図は従来の制御方法で第2図と同じ3種のコイルを加熱し

9

10

た際の板温の変化を示すグラフである。

1…加熱炉、2…時系列データ、3…伝熱モデル、5…板温ルート演算器、10…適応制御装置（適応制御系）、11…数学モデル、12…同定器、13…状態推定器、14…制御器、15…寸法測定器、16…板温計。

特許出願人

川崎製鉄株式会社

代理人 弁理士 森 哲也

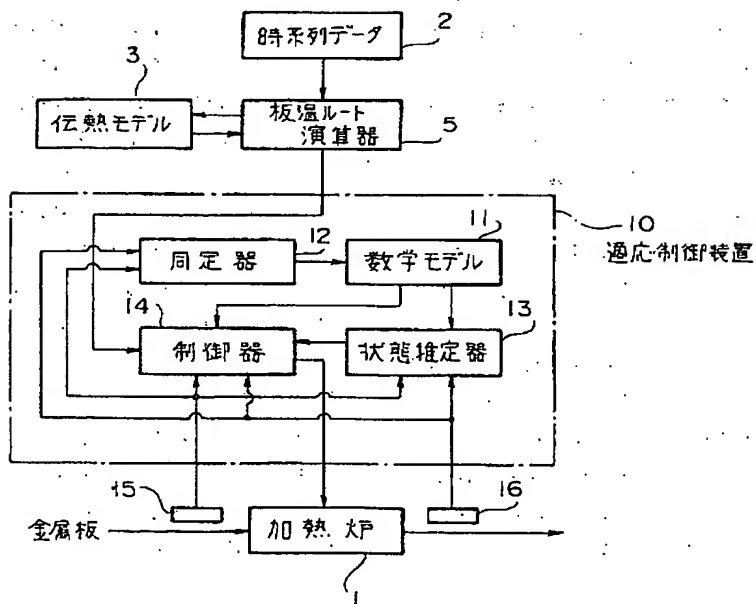
弁理士 内藤 嘉昭

弁理士 清水 正

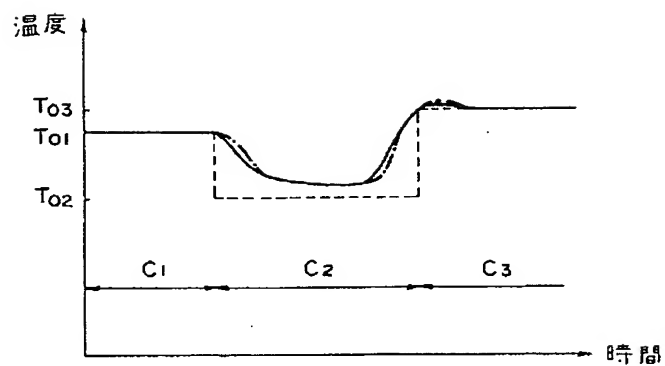
弁理士 大賀 真司

11

第 1 図



第 2 図



第 3 図

